

Рис. 4. Информационный сигнал (а) и прогнозирование помехоустойчивости ЛВС Fast Ethernet при воздействии электромагнитных помех (б)

Таким образом, в данной работе представлены результаты измерений параметров электромагнитных помех в кабелях локальных сетей при микросекундных электромагнитных воздействиях и приведены результаты прогнозирования помехоустойчивости локальной сети Fast Ethernet при воздействии микросекундных электромагнитных помех.

Литература

1. Киричек Р.В. Исследование влияния сверхкоротких электромагнитных импульсов на процесс передачи данных в сетях Ethernet: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. 20 с.
2. Гизатуллин З.М. Помехоустойчивость средств вычислительной техники внутри зданий при широкополостных электромагнитных воздействиях: Монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 254 с.
3. Гизатуллин З.М. Исследование электромагнитной совместимости локальных вычислительных сетей при наносекундных электромагнитных воздействиях // Радиотехника и электроника. 2014. №5. С. 463-466.

А.Ю. Привалов, А.А. Царёв

ШАБЛОН ПЕРЕДВИЖЕНИЯ УЗЛОВ DTN СЕТИ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕВИ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

MANET — беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств. Каждое такое устройство может неза-



висимо передвигаться в любых направлениях, и, как следствие, часто разрывать и устанавливать соединения с соседями. Такие сети обладают рядом преимуществ над беспроводными сетями традиционной архитектуры, а именно возможность передачи данных на большие расстояния без увеличения мощности передатчика, устойчивость к изменениям в инфраструктуре сети, простота и высокая скорость развертывания. Беспроводные сети на базе мобильных устройств обладают важной особенностью: мобильность узлов ведет к дополнительному повышению динамичности топологии сети, поэтому к возможности обрыва связи из-за помех или включения/выключения узла добавляется вероятность его перемещения.

DTN (Delay-Tolerant Networking) – подход к построению архитектур сетей, толерантных к задержкам и частым обрывам связи. Под задержками в DTN в данном контексте понимаются задержки, порождаемые транзитными узлами. Такие сети взаимодействуют как мобильные устройства, полагаясь на ближайшие узлы. В частности, для DTN сетей это принцип «Store-Carry-Forward» («Сохранил-Перенёс-Передал»). Поэтому шаблон передвижений данных узлов сильно влияет на производительность мобильных сетевых протоколов, так от данного шаблона передвижений зависит такая временная характеристика, как *время взаимодействия узлов* (время, которое проходит между двумя последовательными взаимодействиями одного объекта с любым другим). Так как беспроводные устройства часто переносятся людьми, то понимание шаблонов их перемещения приведёт к более реалистичному моделированию сетей и к более точному моделированию протоколов маршрутизации в таких сетях.

Широко используемые модели перемещений в исследованиях сетей это модель случайных перемещений (RWP) или модель случайных блужданий, такие как модель броуновского движения или модель перемещений Маркова (BM). Они достаточно просты для теоретической трактовки и, в то же время, просты для построения масштабируемых имитационных моделей. Однако никаких эмпирических доказательств для доказательства точности таких моделей не существует.

Модель *перемещений Леви* является одной из моделей случайных перемещений, которая описывает такую нетипичную мобильность, которая испытывает супер-диффузию: её среднее квадратичное отклонение пропорционально t^Y , когда $Y > 1$, где t – это время. Природа супер-диффузии перемещений Леви является результатом тяжелого хвоста распределения вероятностей длины перемещений.

Перемещение определяется как самый длинный прямолинейный переход объекта из одного места в другое без изменения направления или паузы. Путь, сложенный из последовательных перемещений, будем называть *трассой*. Интуитивно понятно, что перемещения Леви состоят из множества коротких переходов и появления редких длинных.

Вместо распределения Леви, основанного на обычном распределении Парето, используется усечённое распределение (TLW – Truncated Levy Walk), использующее усечённое распределение Парето для длины передвижений и ин-



тервала времени остановки, с целью моделирования шаблона перемещений на ограниченной области [1] и [2].

В данной модели перемещения предполагается, что некий объект совершает свои прыжки исходя из заданной функции плотности распределения, которая в общем виде задаётся как функция двух переменных (по пространству и по времени):

$$\Phi(\vec{r}, t) = \phi(t|\vec{r})p(\vec{r}), \quad (1)$$

где $p(\vec{r})$ это плотность вероятности того, что будет сделан прыжок на длину вектора \vec{r} в направлении вектора \vec{r} и $\phi(t|\vec{r})$ это условная плотность вероятности того, что прыжок потребуется t времени. Величины \vec{r} и t в (1) определяют скорость прыжка. Когда $p(\vec{r})$ является распределением с тяжёлым хвостом, то процесс (1) представляет перемещения Леви [3].

Как показано в [1] средняя скорость перемещений не постоянна, но растёт так же, как и длина перемещений, потому что длинные перемещения обычно возникают, когда участники используют транспорт. Что отобразить эту тенденцию, модель использует следующую зависимость между длительностью прыжка и его длиной:

$$\Delta t_f = kl^{1-\rho}, \quad 0 \leq \rho \leq 1, \quad (2)$$

где k и ρ некие константы, l – длина перемещения, Δt_f – его длительность.

В начале каждого шага по генерации очередного перемещения объект выбирает направление θ случайным образом из равномерного распределения угла на отрезке $[0, 360]$, длину перемещения l и время паузы Δt_p после перемещения. Они выбираются из соответствующих распределений $p(l)$ и $\psi(\Delta t_p)$, а время прыжка рассчитывается по формуле (2). Само распределение Леви с нормирующим множителем c и экспонентой α в терминах преобразования Фурье имеет вид:

$$f_X(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-itx - |ct|^\alpha) dt. \quad (3)$$

Для $\alpha = 1$ распределение (3) вырождается в распределение Коши, а при $\alpha = 2$ оно вырождается в распределение Гаусса с параметром $\sigma = \sqrt{2}c$. Асимптотически, для $\alpha < 2$, можно $f(x)$ аппроксимировать функцией. Для модели TLW распределения $p(l)$ и $\psi(\Delta t_p)$ являются распределениями Леви с коэффициентами c_α, α и c_β, β соответственно – это параметры моделирования.

Для моделирования трасс нужно определить эти параметры, которые позволят сделать искусственные трассы близкими к реальным в статистическом смысле.

Трассы реальных перемещений записываются с помощью GPS датчиков, переносимых участниками эксперимента. Подобные данные доступны в [4]. Будем называть *путевой точкой*, согласно [5], круг радиусом $R=5$ м, в котором



человек проводит более $T=30$ сек. Положение некоторой путевой точки — это положение центра круга. Путевые точки определяются из входных трасс (как реальных, так и смоделированных). В результате такой «агрегирующей» обработки получается последовательный набор путевых точек, с целью более чёткого определения факта смены местоположения одного пользователя. Радиус и порог времени определяются, исходя из типичного поведения пользователей.

После этого определяются *посещённые локации* – прямоугольные кластеры, объединяющие близкие точки. Локации определяются как транзитивное замыкание точек, находящихся друг от друга на расстоянии не более 100 м. Данные локации очерчивают типичные области скопления пользователей.

Из реальных исходных трасс получаются численные оценки распределения вероятностей длин перемещений между точками и времён остановки (пауз) в точках маршрутов. На основе этих распределений выбираются параметры c_{α}, α и c_{β}, β для распределения по закону Леви (3) как для длин перемещений, так и для пауз соответственно. Параметрами c_{α}, α и c_{β}, β подбирается близость смоделированных распределений к реальным.

Полученные локации используются в дальнейшем для построения модели перемещений людей, подобной модели в [5], с использованием случайной величины Леви. В ней движение объектов начинается в произвольном кластере проходит там до тех пор, пока очередное перемещение не выведет объект за пределы локации. После этого выбирается следующая локация случайным образом – самым простым на данный момент способом с целью увеличения скорости моделирования. И далее передвижение продолжается в новой локации.

Для экспериментальных исследований данного шаблона перемещений была реализована модель в имитационной среде моделирования OMNeT++ на базе фреймворка INET [6]. Для этого был реализован генератор псевдослучайных чисел с распределением Леви (3). Результаты моделирования представляют собой искусственно сгенерированные трассы человеческих перемещений, которые потом проходят такой же анализ, как и реальные трассы, для получения численных оценок распределения вероятностей длин перемещений и пауз. В данной работе представлены результаты экспериментов с трассами с территории кампусов университетов KAIST и NCSU [4]. Сравнение функций распределения реальных и смоделированных трасс можно видеть на рисунке 1 в логарифмических осях с графиками вида:

$$\bar{F}(x) = P(X > x) = 1 - F(x) \quad (4)$$

Как видно на рисунке 1, общая форма графиков довольно близка, что говорит об адекватности представленной модели.

Построена модель мобильности отдельных узлов сети – модель TLW с использованием информации о скоплениях людей на реальной местности (в виде посещённых локаций). Данная модель отличается простотой и выигрывает в скорости моделирования у модели из [2]. Далее планируется разработать алгоритм выбора очередной локации с использованием информации об истории передвижения людей, что позволит приблизить имитацию перемещений к реаль-



ной ситуации. На дальнейших этапах научного исследования данная модель будет использоваться для моделирования беспроводных сетей с динамически изменяющейся топологией, с целью проверки эффективности протоколов маршрутизации.

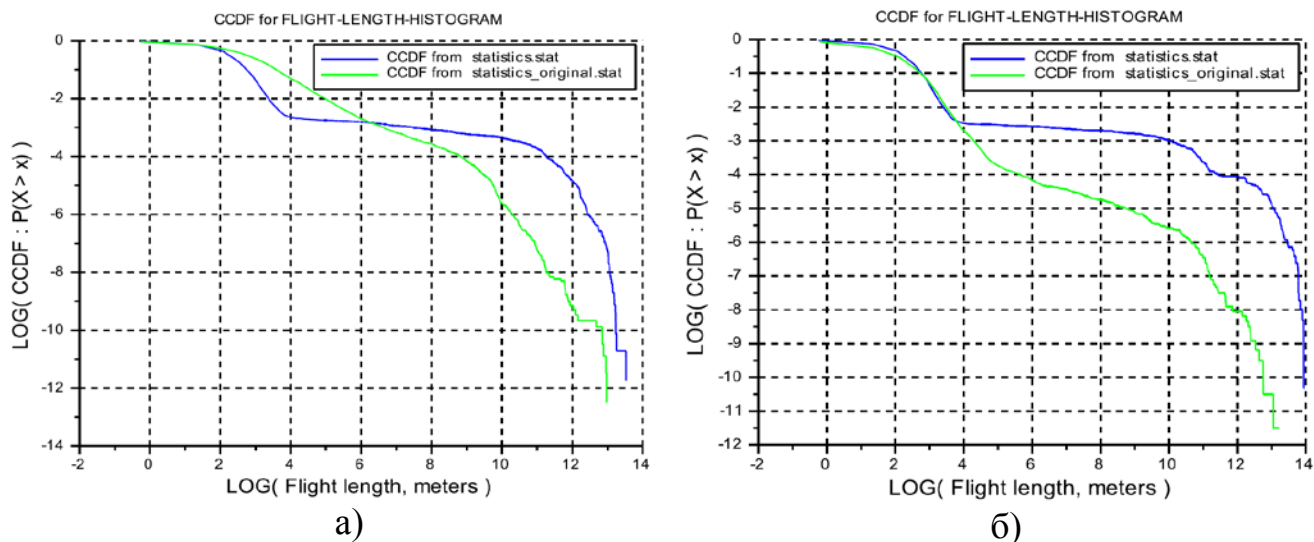


Рис. 1. Функции распределения (4) в логарифмических осях координат для реальных и смоделированных трасс для KAIST (а) и для NCSU (б).

Литература

1. Rhee I., Shin M., Hong S., Lee K., Kim S. J. and Chong S. On the Levy-Walk Nature of Human Mobility. *IEEE/ACM Transactions On Networking*, vol. 19, no. 3, 2011, pp. 630–643.
2. Lee K., Hong S., Kim S. J., Rhee I. and Chong S. SLAW: Self-Similar Least-Action Human Walk. *IEEE/ACM Transactions On Networking*, vol. 20, no. 2, 2012, pp. 515–529.
3. Shlesinger M. F., Zaslavsky G. M. and Klafter J. Levy dynamics of enhanced diffusion: Application to turbulence. *ys. Rev. Lett.*, vol.58, 1987, pp. 1100–1103.
4. Kotz D. Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth // Dartmouth College, 2015. URL: <http://www.crawdad.org/index.html> (дата обращения: 13.03.2015).
5. Lee K., Hong S., Kim S. J., Rhee I. and Chong S. Demystifying Levy Walk Patterns in Human Walks. Technical report, CS Dept., NCSU, USA, 2008.
6. Varga A. OMNeT++ // OpenSim Ltd, 2015. URL: <http://www.omnetpp.org/> (дата обращения: 13.03.2015).